

床旁即时超声在心源性休克患者诊疗中的应用进展

朱宁¹ 刘颖²

¹ 贵州医科大学临床医学院, 贵州贵阳 550004; ² 贵州医科大学附属医院重症医学科, 贵州贵阳 550004

通信作者: 刘颖, Email: liuying@gmc.edu.cn

【摘要】 心源性休克是一种由心脏泵功能衰竭导致的高病死率临床综合征, 常见病因包括急性心肌梗死、心肌炎、心脏瓣膜病等。心源性休克的病理生理核心为心排血量降低、组织灌注不足和多器官功能损害。精准的血流动力学评估对心源性休克的诊疗至关重要。相较于传统有创监测技术〔如 Swan-Ganz 导管、脉搏指示连续心排血量监测 (PiCCO)〕, 床旁即时超声 (POCUS) 因其具有可视化、无创、实时等优点, 已成为重症监护中的重要评估工具。POCUS 的流程化应用可优化心源性休克的精准治疗, 但需注意技术局限性, 提倡多参数联合评估以指导临床决策。现就 POCUS 在心源性休克系统性评估 (包括病因筛查、容量状态、右心功能、左心功能、肺部状态、器官血流灌注及静脉回流评估) 中的应用, 及其在静脉-动脉体外膜肺氧合 (VA-ECMO) 管理中的关键作用进行综述。

【关键词】 床旁即时超声; 心源性休克; 血流动力学; 体外膜肺氧合

基金项目: 贵州医科大学附属医院博士科研启动基金项目 (gyfybsky-2021-65)

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2025.02.024

Advances in the application of point-of-care ultrasound for cardiogenic shock management

Zhu Ning¹, Liu Ying²

¹Clinical Medicine School of Guizhou Medical University, Guiyang 550004, Guizhou, China; ²Department of Critical Care Medicine, Affiliated Hospital of Guizhou Medical University, Guiyang 550004, Guizhou, China

Corresponding author: Liu Ying, Email: liuying@gmc.edu.cn

【Abstract】 Cardiogenic shock is a clinical syndrome with high mortality resulting from cardiac pump failure. Common etiologies include acute myocardial infarction, myocarditis, and valvular heart disease. The pathophysiology of cardiogenic shock involves reduced cardiac output, inadequate tissue perfusion, and multi-organ dysfunction. Accurate hemodynamic assessment is critical for the diagnosis and management of cardiogenic shock. Compared to traditional invasive monitoring techniques [the Swan-Ganz catheter or pulse indicator continuous cardiac output (PiCCO) monitoring], point-of-care ultrasound (POCUS) has emerged as a vital tool in intensive care due to its advantages of real-time visualization, non-invasiveness, and dynamic monitoring. Protocolized application of POCUS optimizes precision therapy in cardiogenic shock; however, technical limitations necessitate multimodal parameter assessment to guide clinical decision-making. This review focuses on the application of POCUS in the systematic evaluation of cardiogenic shock, including etiological screening, assessment of volume status, right and left ventricular function, pulmonary status, organ perfusion, and venous congestion, and its critical role in the management of veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation (VA-ECMO).

【Key words】 Point-of-care ultrasound; Cardiogenic shock; Hemodynamics; Extracorporeal membrane oxygenation

Fund program: The Doctoral Research Initiation Fund Project of Affiliated Hospital of Guizhou Medical University (gyfybsky-2021-65)

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2025.02.024

心源性休克是由于心脏泵功能下降, 心排血量降低, 组织灌注不足, 发生循环衰竭和严重微循环障碍, 导致组织细胞氧供给与氧需求失衡的临床综合征^[1-2]。心源性休克可引起严重的多器官功能损害, 其病情进展快, 短期病死率高, 达 40%~50%^[3-4]。

心源性休克的常见病因包括急性心肌梗死、心肌炎、心肌病、心脏瓣膜疾病、恶性心律失常、终末期心力衰竭、药物过量或中毒等, 其中急性心肌梗死占比达 81%; 大面积急性心肌梗死会导致心脏泵血功能急剧下降, 还可能导致室间隔穿孔、心室游离壁破裂致心包大量积血、乳头肌断裂致二尖瓣急性反流等机械并发症^[5-6]。

根据心室受累情况, 心源性休克可分为左心室受累为

主型、右心室受累为主型及双心室均受累型。不同病因、不同的心室受累表型, 其血流动力学特点不同, 相应治疗也不相同^[7]。对于心源性休克患者, 进行实时血流动力学连续监测及精准化评估是指导临床决策、改善预后的关键环节。相较于漂浮导管 (Swan-Ganz 导管)、脉搏指示连续心排血量监测 (pulse indicator continuous cardiac output, PiCCO) 等传统有创监测技术, 床旁即时超声 (point-of-care ultrasound, POCUS) 具有可视化、无创、实时、可重复检查及无需搬动患者等特点, 已成为重症监护病房 (intensive care unit, ICU) 休克患者血流动力学监测和评估的重要手段, 其应用日益广泛^[8]。中国重症超声研究组 (Chinese Critical Ultrasound Study Group, CCUSG) 在《中国重症超声专家共识》中提出, 运用

超声影像技术针对重症患者,构建以临床问题为导向、多目标整合的动态评估体系,是明确重症治疗策略,尤其是血流动力学治疗方向的重要指导手段及精细调节的关键依据,并提出对循环衰竭患者进行超声评估时实行流程化方案^[9]。现就 POCUS 在心源性休克系统性评估(包括病因筛查、容量状态、右心功能、左心功能、肺部状态、器官血流灌注及静脉回流评估)中的应用,及其在静脉-动脉体外膜肺氧合(veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation, VA-ECMO)管理中的关键作用进行综述。

1 床旁即时超声在心源性休克诊疗中的系统性评估

1.1 大体评估窄化引起心源性休克的原因:标准二维经胸超声通过目标导向的经胸心脏超声检查流程(focus assessed transthoracic echocardiography, FATE)扫查心脏的 4 个切面可以迅速筛查有关休克的病因,由此快速做出初步的判断^[10-11]。心脏 4 个腔室中只有右心室可以急性扩张,其他腔室扩张都是慢性的病变过程。如当患者有左心室或左心房扩张,可能提示存在扩张型心肌病、缺血性心肌病或心脏瓣膜性疾病;当左心室壁明显增厚,需要考虑肥厚性心肌病、严重主动脉瓣狭窄或长期高血压导致的心脏改变;而当患者存在右心房扩大或右心室扩大同时合并右心室室壁增厚,常是慢性肺源性心脏病的典型表现。通过超声目测法快速了解心脏是否存在慢性基础疾病,初步了解心室收缩功能不全的类型:左心室收缩功能不全、右心室收缩功能不全及双心室收缩功能不全。初步评估心腔大小,有无任何明显的瓣膜异常,有无心包积液等。然后,可以应用彩色和频谱多普勒、组织多普勒成像等进行额外评估,以实现更全面诊断和深入的血流动力学评估。

1.2 通过下腔静脉(inferior vena cava, IVC)评估容量状态及容量反应性:标准 IVC 测量应将心脏超声探头置于剑突下,获取 IVC 纵轴切面,于右心房入口远端 2 cm 处定位,分别在呼气末和吸气末冻结超声图像,测量并记录 IVC 最大内径和最小内径;若剑突下声窗受限,可改用右侧经肝切面,在腋中线位置获取 IVC 短轴,测量呼气末、吸气末 IVC 直径^[12-13]。自主呼吸时 IVC 直径随呼吸周期改变,可计算 IVC 塌陷性指数(collapsibility index of IVC, cIVC),当 cIVC>50%,提示有容量反应性;机械通气时,可计算 IVC 扩张指数(distensibility index of IVC, dIVC),当 dIVC>18%,提示有容量反应性。当 IVC 直径>20 mm,不会随呼吸变化,呈现宽大固定时,提示无容量反应性的可能性大^[14-15]。但应注意腹内压增高、心包填塞、心功能差、机械通气自发性呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)过高等均可影响容量判定的准确性^[16-17],临床上往往是通过 IVC 联合右心和左心功能共同评估。

1.3 右心功能的评估:右心在血液循环中有着非常重要的地位,其承接了全部的外周静脉血回流,并克服肺血管阻力,将全部容量输送至肺循环,进一步至左心及体循环。评估右心功能主要从右心的大小、室间隔形态与运动、三尖瓣环平面收缩期位移(tricuspid annular plane systolic excursion,

TAPSE)、三尖瓣多普勒频谱等方面进行。右心室扩大是右心室舒张期过负荷的表现。首先,评估右心室是否扩张,通常先获取标准心尖四腔心切面,测量左、右心室舒张期横径,正常情况下右心室与左心室横径比值<0.6;当该比值>0.6 时,提示出现了右心室扩张;当该比值>1.0 时,则认为右心室存在重度扩张。其次,观察室间隔,当右心室扩张,其内部压力进一步增加,当右心室压力超过左心室时会导致室间隔受压变形,此时通过胸骨旁短轴切面超声检查可观察到特征性的“D 字征”及室间隔矛盾运动^[9, 18]。接下来评估右心室运动,于心尖四腔心切面,利用 M 型超声测量 TAPSE,正常应>15 mm。当 TAPSE 减小,提示右心室收缩功能降低^[19]。最后观察三尖瓣多普勒频谱,于心尖四腔心切面,采用连续波多普勒超声技术获取三尖瓣反流频谱,当三尖瓣反流速度超过 3.4 m/s 且对应肺动脉收缩压(pulmonary artery systolic pressure, PASP)估算值>50 mmHg(1 mmHg≈0.133 kPa),可考虑肺动脉高压^[20-21]。

在临床中右心功能障碍通常有 3 种情况:当右心功能不全同时合并左心功能不全,结合患者临床病史、心电图 ST-T 动态改变、心肌标志物等检测可考虑脓毒性心肌病、病毒性心肌炎、急性冠状动脉(冠脉)事件、扩张型心肌病等导致的双心室功能衰竭;当右心功能不全合并左心室下壁运动障碍,结合心电图、心肌酶谱动态演变可确诊为右心室心肌梗死;而当右心室扩张合并室间隔受压呈“D 字征”,室间隔矛盾运动,三尖瓣反流速度明显异常,并且右心室壁无明显增厚时,常提示患者存在急性肺心病。临床需综合评估患者病史、下肢血管超声、胸部 X 线、肺部超声及肺动脉造影等检查,以明确右心功能不全是否由肺动脉栓塞或急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome, ARDS)所致。

1.4 左心功能的评估:左心功能评估包括收缩功能评估和舒张功能评估两个方面。心源性休克时左心室收缩功能降低,应用超声可以观察左心室收缩功能障碍是弥漫性还是节段性,节段性收缩功能障碍是冠脉相关还是非冠脉相关。冠脉相关的左心室节段性收缩功能障碍往往见于急性冠脉综合征;非冠脉相关左心室节段性收缩功能障碍见于应激性心肌病、脓毒性心肌病等;弥漫性左心室收缩功能障碍见于心肌炎、心肌病、心脏术后、药物、中毒、心肺复苏术后等。可以结合超声影像、病史及实验室检查帮助查找心源性休克的病因。

左心功能评估的核心在于系统分析左心室收缩功能。首先,可采用目测法对左心室收缩功能进行定性评估,通过动态观察心室壁运动幅度和室壁增厚率快速评估整体收缩状态。其次,还可以运用超声进行定量评估,常用的有以下指标^[22-23]:①左室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF):LVEF 作为核心指标,其数值分级(LVEF>0.50 为收缩功能保留,0.30~0.50 提示轻度至中度降低,<0.30 则属严重降低)具有明确的临床意义。LVEF 的评估方法简单,经规范培训的医师均可实现准确评估。当左室为节段性收缩功能障碍时建议通过 Simpson 法分别测量心尖四腔和

心尖两腔心切面舒张期末和收缩期末面积,测算射血分数(ejection fraction, EF),要求能清楚描记心内膜。② 左室内径缩短率,当弥漫性左室收缩功能障碍时可以通过 M 超声测量左室内径缩短率,正常参考值为 25%~40%,左室内径缩短率=(舒张期末内径-收缩期末内径)/舒张期末内径。③ 二尖瓣瓣环平面收缩期位移(mitral annular plane systolic excursion, MAPSE):正常参考值>10 mm,通过 M 超在心尖四腔心切面测量 MAPSE 可反映左心室长轴的运动。④ 心排血量:于心尖五腔心切面测量左心室流出道(left ventricular outflow tract, LVOT)速度时间积分(velocity time integral, VTI),采用胸骨旁左室长轴切面精确测量左室流出道直径(diameter, D),通过公式计算每搏量(stroke volume, SV) [$SV = \pi (D/2)^2 \times VTI$] 和心排血量[心排血量=SV×心率(heart rate, HR)]。通过对左心室收缩功能评估指导正性肌力药物使用,并对是否需要主动脉搏囊反搏或体外膜肺氧合(extracorporeal membrane oxygenation, ECMO)支持提供依据。

左心室舒张功能评估对于心源性休克患者也至关重要。左心室收缩功能障碍患者均存在左心室舒张功能异常,舒张功能不全患者对容量负荷的耐受阈值降低,易导致肺循环淤血。左心室收缩功能障碍可通过舒张早期二尖瓣血流峰值速度与舒张早期二尖瓣环心肌峰值运动速度的比值(E/e')进行评估,当 $E/e' > 15$ 时提示左心房的充盈压升高,此时补液可诱发肺水肿的发生^[24]。

1.5 肺部评估:心源性休克患者往往会并发肺水肿、肺实变、胸腔积液等肺部病理改变,由此导致机体氧合下降,肺循环阻力加大,肺部感染风险增高。这些情况均不利于疾病的改善。所以应用超声了解肺部情况,并指导肺部治疗是重要的组成部分。通过改良急诊床旁肺部超声评估(beside lung ultrasound in emergency, BLUE)方案评估双肺不同区域超声征象,可指导液体管理、机械通气、俯卧位通气的实施及胸腔积液引流等^[25-27]。

1.6 器官血流灌注的评估:心源性休克时,循环衰竭会影响各个器官,血流动力学治疗不恰当会加重器官损伤,利用超声对脑、肾脏血流进行评估,可指导心源性休克患者的治疗。

超声对脑血流的评估:大脑有较强的自主调节功能,当平均动脉压在一定范围(60~150 mmHg)波动时,脑血流可以维持稳定。但当血压低于脑血流自主调节压力下限,会导致脑血流灌注不足。另外,如果患者发生过心搏骤停,心肺复苏术后可能会有脑水肿、颅内压增高,部分重症患者脑灌注自主调节功能可能受损,出现压力下限上移、压力上限下移、脑血流灌注波动改变等,因此需要通过超声监测脑血流变化,进行个体化确定压力下限的滴定治疗。

超声对肾脏血流的评估:肾小球毛细血管网的两端均以小动脉相连,这一独特结构使肾脏血流灌注呈现显著的压力依赖性特征。与其他器官系统相比,肾脏维持正常功能所需的灌注压更高,因而其血流动力学对平均动脉压的波动特别敏感。肾脏血流自主调节能力较强,当平均动脉压足以维持肾脏灌注时,通常也能满足其他器官需求,所以肾脏可

以作为器官血流灌注评估的前哨器官。Liu 等^[28]提出了急性肾损伤(acute kidney injury, AKI)的超声评估 ABCDE 流程:① 识别 AKI 的危险因素。② 应用 B 超观察肾脏结构。③ 应用彩色多普勒对肾脏血流灌注进行半定量评估,将肾脏血流分为 4 个等级:0 级为肾脏无血流;1 级为肾门少量血流;2 级为血液流向肾实质的大部分;3 级为肾皮质血流正常、充盈。④ 应用脉冲多普勒观察肾脏叶间动脉血流频谱:健康人群为典型的低阻力模式,舒张期流速为收缩期流速的 30%~50%,肾动脉阻力指数(renal resistive index, RRI)的正常参考值为 0.5~0.7。RRI 与血管阻力之间的相关性受多种因素影响,其中血管顺应性、脉压、肾间质压和远端血管床面积是主要因素,当 RRI 异常需要与肾静脉、肾微循环和全身循环的血流动力学评估相结合。⑤ 应用超声造影了解肾脏微循环。

1.7 器官静脉回流评估:维持机体器官的正常血流动力学除与器官动脉血流灌注有关外,还与器官静脉回流正常与否相关。中心静脉压直接反映右心房与上下腔静脉的压力水平。大脑因为有脑血窦,其静脉回流受中心静脉压的影响相对较小。当中心静脉压增高时会影响肝、肾、胃肠等器官静脉回流,当器官静脉压力增加可导致毛细血管静水压力升高而出现器官间质水肿、内皮屏障破坏、器官间质压力迅速增高,进而引起器官血流灌注减少、功能损害。静脉过负荷超声评分(venous excess ultrasound score, VExUS)通过结合 IVC 直径、肝静脉流量、门静脉及肾脏叶间静脉血流频谱对器官静脉回流进行评估^[29]。VExUS 分为 4 级:0 级为 IVC 直径<2 cm;1 级为 IVC 直径>2 cm,但肝静脉、门静脉及肾静脉血流频谱无异常;2 级为 IVC 直径>2 cm,肝静脉、门静脉及肾静脉血流频谱其中有 1 个出现中度异常;3 级为 IVC 直径>2 cm,肝静脉、门静脉及肾静脉血流频谱其中 2 个以上出现严重异常。VExUS 分级越高,器官静脉回流阻力越大,器官损伤风险越高。

2 床旁即时超声在 VA-ECMO 管理中的应用

对于难治性心源性休克患者,VA-ECMO 是常用的机械循环辅助治疗手段^[30]。应用超声在 VA-ECMO 整个治疗过程中进行评估和监测非常重要,贯穿于整个 ECMO 管理过程^[31-34]。

超声在 VA-ECMO 前的评估:① 超声评估可帮助明确是否存在导致患者循环不稳定的可逆病变,如心包填塞、张力性气胸、未明确的心脏瓣膜病等,尽早解除病因可迅速改善患者循环,可能无需进行 ECMO 支持。② 超声评估可帮助排除一些绝对禁忌证,如严重的主动脉瓣反流、未修复的主动脉夹层、器官活动性出血等。③ 评估心室腔大小、室壁运动、瓣膜运动及各瓣膜反流。同时通过测量 LVOT 的 VTI 及 LVEF 来定量评估心功能,为是否进行 VA-ECMO 决策提供依据。

超声在 VA-ECMO 循环通路建立中的作用:超声可帮助明确股动脉、股静脉解剖位置,帮助识别潜在的插管障碍,如血栓、血管狭窄、动脉瘤或严重动脉粥样硬化等;此

外,通过超声实时测量血管直径,有助于选择合适型号的导管;并能引导血管穿刺置管,精确判断导管位置,确保 ECMO 循环通路安全建立。

超声在 VA-ECMO 支持期间的监测评估:超声可以评估心脏功能、容量状态、容量反应性、心包积液、瓣膜功能等,从而指导调整治疗。此外帮助评估并发症:通过超声监测,可以帮助及时发现和处理 ECMO 期间可能出现的并发症,如血栓形成、血管损伤等。

评估 VA-ECMO 撤机:在心功能改善、血流动力学稳定的情况下,可以考虑撤机,应用超声可帮助评估是否具备撤条件。具体指标包括:LVEF>0.25~0.30, LVOT 的 VTI $\geq$ 12 cm,二尖瓣环收缩期峰值速度 $\geq$ 6 cm/s,且无明显心室扩张和心包积液,无明显腔静脉充盈固定,可考虑进行撤机试验,当 ECMO 血流量减至 0.5~1.0 L/min 时,无需或仅需少量血管活性药物支持即可维持满意的血压和微循环灌注,可以考虑撤离 ECMO。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Lüsebrink E, Binzenhöfer L, Adamo M, et al. Cardiogenic shock [J]. *Lancet*, 2024, 404 (10466): 2006–2020. DOI: 10.1016/S0140-6736(24)01818-X.
- [2] Waksman R, Pahuja M, van Diepen S, et al. Standardized definitions for cardiogenic shock research and mechanical circulatory support devices: scientific expert panel from the shock academic research consortium (SHARC) [J]. *Circulation*, 2023, 148 (14): 1113–1126. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.123.064527.
- [3] Kanwar MK, Billia F, Randhawa V, et al. Heart failure related cardiogenic shock: an ISHLT consensus conference content summary [J]. *J Heart Lung Transplant*, 2024, 43 (2): 189–203. DOI: 10.1016/j.healun.2023.09.014.
- [4] Palacios Ordonez C, Garan AR. The landscape of cardiogenic shock: epidemiology and current definitions [J]. *Curr Opin Cardiol*, 2022, 37 (3): 236–240. DOI: 10.1097/HCO.0000000000000957.
- [5] Siopi SA, Antonitsis P, Karapanagiotidis GT, et al. Cardiac failure and cardiogenic shock: insights into pathophysiology, classification, and hemodynamic assessment [J]. *Cureus*, 2024, 16 (10): e72106. DOI: 10.7759/cureus.72106.
- [6] Sarma D, Jentzer JC. Cardiogenic shock: pathogenesis, classification, and management [J]. *Crit Care Clin*, 2024, 40 (1): 37–56. DOI: 10.1016/j.ccc.2023.05.001.
- [7] Jentzer JC, Pöss J, Schaubroeck H, et al. Advances in the management of cardiogenic shock [J]. *Crit Care Med*, 2023, 51 (9): 1222–1233. DOI: 10.1097/CCM.00000000000005919.
- [8] Ochagavía A, Palomo-López N, Fraile V, et al. Hemodynamic monitoring and echocardiographic evaluation in cardiogenic shock [J]. *Med Intensiva (Engl Ed)*, 2024, 48 (10): 602–613. DOI: 10.1016/j.medine.2024.07.001.
- [9] 王小亭, 刘大为, 于凯江, 等. 中国重症超声专家共识 [J]. *临床荟萃*, 2017, 32 (5): 369–383. DOI: 10.3969/j.issn.1004-583X.2017.05.001.
- [10] 张丽娜, 张宏民, 王小亭, 等. 精准休克治疗: 要重视重症超声导向的六步法休克评估流程 [J]. *中华医学杂志*, 2016, 96 (29): 2289–2291. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2016.29.001.
- [11] Gonzalez JM, Ortega J, Crenshaw N, et al. Rapid ultrasound for shock and hypotension: a clinical update for the advanced practice provider: part 1 [J]. *Adv Emerg Nurs J*, 2020, 42 (4): 270–283. DOI: 10.1097/TME.0000000000000321.
- [12] 王金灿, 陈继, 吴海燕. 下腔静脉超声对容量状态评估的应用进展 [J]. *湖北医药学院学报*, 2023, 42 (3): 344–348. DOI: 10.13819/j.issn.2096-708X.2023.03.026.
- [13] 赵鹏, 王泽凯. 床旁即时超声技术对血液透析患者容量负荷评估研究进展 [J]. *疑难病杂志*, 2021, 20 (9): 968–972. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6450.2021.09.024.
- [14] Kaptein EM, Kaptein MJ. Inferior vena cava ultrasound and other techniques for assessment of intravascular and extravascular volume: an update [J]. *Clin Kidney J*, 2023, 16 (11): 1861–1877. DOI: 10.1093/ckj/sfad156.
- [15] Yildizdas D, Aslan N. Ultrasonographic inferior vena cava collapsibility and distensibility indices for detecting the volume status of critically ill pediatric patients [J]. *J Ultrason*, 2020, 20 (82): e205–e209. DOI: 10.15557/JoU.2020.0034.
- [16] 高学慧, 舒化青, 余愿, 等. 床旁超声监测下腔静脉在重症患者容量管理中的应用进展 [J]. *中华危重病急救医学*, 2021, 33 (11): 1379–1383. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20210401-00493.
- [17] Vieillard-Baron A, Evrard B, Repessé X, et al. Limited value of end-expiratory inferior vena cava diameter to predict fluid responsiveness impact of intra-abdominal pressure [J]. *Intensive Care Med*, 2018, 44 (2): 197–203. DOI: 10.1007/s00134-018-5067-2.
- [18] 来鑫乐, 宋佳, 龚仕金. 超声评估患者右心室功能的临床研究进展 [J]. *心脑血管病防治*, 2023, 23 (4): 39–42. DOI: 10.3969/j.issn.1009-816X.2023.04.009.
- [19] Santiago-Vacas E, Lupón J, Gavidia-Bovadilla G, et al. Pulmonary hypertension and right ventricular dysfunction in heart failure: prognosis and 15-year prospective longitudinal trajectories in survivors [J]. *Eur J Heart Fail*, 2020, 22 (7): 1214–1225. DOI: 10.1002/ehf.1862.
- [20] 中华医学会呼吸病学分会肺栓塞与肺血管病学组, 中国医师协会呼吸医师分会肺栓塞与肺血管病工作委员会, 全国肺栓塞与肺血管病防治协作组. 中国肺动脉高压诊断与治疗指南 (2021 版) [J]. *中华医学杂志*, 2021, 101 (1): 11–51. DOI: 10.3760/cma.j.cn112137-20201008-02778.
- [21] 张德园, 崔晓霁, 张红雨. 无创方法筛查肺动脉高压的研究进展 [J]. *心肺血管病杂志*, 2024, 43 (1): 96–101. DOI: 10.3969/j.issn.1007-5062.2024.01.020.
- [22] Chengode S. Left ventricular global systolic function assessment by echocardiography [J]. *Ann Card Anaesth*, 2016, 19 (Supplement): S26–S34. DOI: 10.4103/0971-9784.192617.
- [23] Luis SA, Chan J, Pellikka PA. Echocardiographic assessment of left ventricular systolic function: an overview of contemporary techniques, including speckle-tracking echocardiography [J]. *Mayo Clin Proc*, 2019, 94 (1): 125–138. DOI: 10.1016/j.mayocp.2018.07.017.
- [24] Robinson S, Ring L, Oxborough D, et al. The assessment of left ventricular diastolic function: guidance and recommendations from the British Society of Echocardiography [J]. *Echo Res Pract*, 2024, 11 (1): 16. DOI: 10.1186/s44156-024-00051-2.
- [25] Colares PFB, Mafort TT, Sanches FM, et al. Thoracic ultrasound: a review of the state-of-the-art [J]. *J Bras Pneumol*, 2024, 50 (4): e20230395. DOI: 10.36416/1806-3756/e20230395.
- [26] 秦桂香, 储鑫, 吕学东, 等. 改良 BLUE 方案肺超声评分在机械通气患者中的应用价值 [J]. *生物医学工程与临床*, 2024, 28 (3): 348–353. DOI: 10.13339/j.cnki.sgle.20240422.022.
- [27] 吕杰, 吕珊, 郭晓夏, 等. 肺部超声指导危重症患者肺部病变诊疗的效果评价 [J]. *中国中西医结合急救杂志*, 2021, 28 (3): 324–328. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2021.03.016.
- [28] Liu LX, Liu DW, Hu ZJ, et al. Renal hemodynamic evaluation protocol based on the pathophysiological mechanism of acute kidney injury: critical care ultrasound guided-A₁BCDE [J]. *Ren Fail*, 2023, 45 (2): 2284842. DOI: 10.1080/0886022X.2023.2284842.
- [29] Koratala A, Reisinger N. Venous excess doppler ultrasound for the nephrologist: pearls and pitfalls [J]. *Kidney Med*, 2022, 4 (7): 100482. DOI: 10.1016/j.xkme.2022.100482.
- [30] 张红玲, 余愿, 陈德昌, 等. 2023 年体外生命支持临床研究回顾 [J]. *中华危重病急救医学*, 2024, 36 (2): 118–123. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20231204-01038.
- [31] 中国研究型医院学会危重症医学专业委员会. 床旁即时超声在成人体外膜肺氧合管理中的应用中国专家共识 [J]. *中华危重病急救医学*, 2022, 34 (10): 1012–1023. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20220930-00874.
- [32] Le Gall A, Follin A, Cholley B, et al. Veno-arterial-ECMO in the intensive care unit: from technical aspects to clinical practice [J]. *Anaesth Crit Care Pain Med*, 2018, 37 (3): 259–268. DOI: 10.1016/j.jaccpm.2017.08.007.
- [33] Tohme J, Piat C, Aissat N, et al. Weaning-related shock in patients with ECMO: incidence, mortality, and predisposing factors [J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2021, 35 (1): 41–47. DOI: 10.1053/j.jvca.2020.07.069.
- [34] Douflé G, Dragoi L, Morales Castro D, et al. Head-to-toe bedside ultrasound for adult patients on extracorporeal membrane oxygenation [J]. *Intensive Care Med*, 2024, 50 (5): 632–645. DOI: 10.1007/s00134-024-07333-7.

(收稿日期: 2025-01-19)

(责任编辑: 邸美仙)